

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-299532

(P2000-299532A)

(43) 公開日 平成12年10月24日 (2000. 10. 24)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-リ-ト* (参考)
H 0 1 S 5/343		H 0 1 S 5/343	5 F 0 4 1
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C 5 F 0 7 3

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平11-256452

(22) 出願日 平成11年9月10日 (1999. 9. 10)

(31) 優先権主張番号 特願平11-32510

(32) 優先日 平成11年2月10日 (1999. 2. 10)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000228057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 小崎 徳也

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 中村 修二

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

Fターム (参考) 5F041 AA40 CA04 CA05 CA34 CA40

CA46 CA65

5F073 AA51 AA73 AA74 AA76 AA77

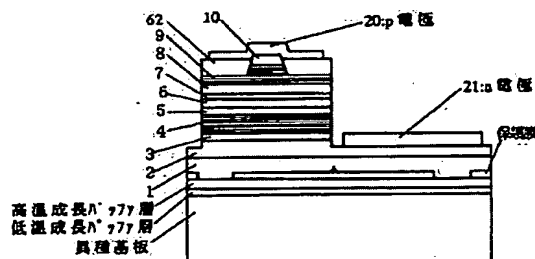
CA07 DA05

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体レーザ素子

(57) 【要約】

【課題】 ガイド層や活性層等の結晶性を向上させ、長波長のレーザ光を得ることができる窒化物半導体レーザ素子を提供することである。

【解決手段】 n型クラッド層4及び/又はp型クラッド層9が、活性層6に接近するにつれて、Al組成が少なくなるように組成傾斜されているAl_{1-x}Ga_xN (0 ≤ x < 1) を有する第1の窒化物半導体を含んでなり、前記活性層6が、In_bGa_{1-b}N (0 ≤ b < 1) を含んでなる量子井戸構造であり、n型ガイド層5及び/又はp型ガイド層8が、活性層6に接近するにつれて、Inの組成が多くなるように組成傾斜され、但しInの組成が活性層の井戸層のInの組成より少ないようにされているIn_dGa_{1-d}N (0 ≤ d < 1) を有する第2の窒化物半導体を含んでなる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に、少なくともn型クラッド層、n型ガイド層、活性層、p型ガイド層及びp型クラッド層を有する窒化物半導体レーザ素子において、前記n型及び／又はp型クラッド層が、活性層に接近するにつれて、Al組成が少なくなるように組成傾斜されている $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) を有する第1の窒化物半導体を含んでなり、前記活性層が、 $\text{In}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b < 1$) を含んでなる量子井戸構造であり、前記n型及び／又はp型ガイド層が、活性層に接近するにつれて、Inの組成が多くなるように組成傾斜され、但しInの組成が活性層の井戸層のInの組成より少ないようにされている $\text{In}_d\text{Ga}_{1-d}\text{N}$ ($0 \leq d < 1$) を有する第2の窒化物半導体を含んでなることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

【請求項2】 前記n型及び／又はp型クラッド層が、前記組成傾斜されている第1の窒化物半導体と、第1の窒化物半導体と組成の異なる第3の窒化物半導体とを積層してなる多層膜層であることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項3】 前記n型及び／又はp型ガイド層が、前記組成傾斜されている第2の窒化物半導体と、第2の窒化物半導体と組成の異なる第4の窒化物半導体とを積層してなる多層膜層であることを特徴とする請求項1又は2に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、LED（発光ダイオード）、SLD（スーパーluminescent diode）、LD（レーザダイオード）等の発光素子、太陽電池、光センサー等の受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに使用される窒化物半導体（ $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, $0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$ ）素子に関し、特に、光閉じ込めが良好な青色（およそ400nm付近）よりも長波長のレーザ光の得られる窒化物半導体レーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、本発明者等は、実用可能な窒化物半導体レーザ素子を提案している。例えば、Japanese Journal of Applied Physics, Vol.37(1998)pp.L309-L312に、発振波長が400nm付近のレーザ光が得られる窒化物半導体レーザ素子を開示している。この素子は、サファイア上に成長させたGa_{0.9}N層上に、SiO₂よりなる保護膜を部分的に形成し、その上から再度Ga_{0.9}Nを有機金属気相成長法（MOVPE）等の気相成長法により選択成長させ、厚膜のGa_{0.9}Nを成長させることにより得られる結晶欠陥（以下、転位という場合もある）の少ない窒化物半導体を基板（以下、ELOG基板という場合がある。）とし、このELOG基板上に、少なくとも多層膜層（超格子層）のn型クラッド層と多層膜層（超格

子層）のp型クラッド層との間に、多重量子井戸構造の活性層を有してなる。このような素子構造を有するレーザ素子は、1万時間以上の連続発振を達成することができる。

【0003】更に本発明者等は、窒化物半導体を用いて、例えば450nm付近の長波長のレーザ光の得られる窒化物半導体レーザ素子の実用化の研究を行っている。長波長のレーザ光を得る方法として、例えば、上記J. J. A. P. に記載の素子構造において、理論的には、活性層のIn組成比を多くすることにより長波長の光が得られる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、活性層のIn混晶比を高くすると、活性層で発光した光がn型ガイド層からp型ガイド層までの間を良好に導波できるように、ガイド層にもInを含ませて活性層に対するガイド層の屈折率を調整する必要が生じるが、上記J. J. A. P. に記載のGa_{0.9}Nでガイド層を形成した場合に比べて、In含有のガイド層の結晶性が非常に低下してしまう。n型ガイド層の結晶性が低下すると、活性層の結晶性も低下し良好な発光が得られ難くなる。また、ガイド層の結晶性の低下により、ガイド層での光の損失、吸収及び散乱などが生じてしまう。更に、活性層のIn混晶比を高くすると結晶性が低下するために、自然発光時の波長の半値幅が広くなり、ピーク波長をレーザ光としにくくなる。更にまた、長波長のレーザ素子の場合、クラックの入り易いAl含有のn型クラッド層上に、In含有の結晶性の低下し易いn型ガイド層を積層成長させるために、n型クラッド層の結晶性を向上させることはかなり難しい。

【0005】また、本出願人は、特開平10-335757号公報に、クラッド層やガイド層の結晶性を向上させるために、ガイド層やクラッド層を超格子にすることを開示している。しかし、上記公報に記載の技術では、400nm付近のレーザ光が得られる素子に対しては有効であるが、波長をさらに長波長にするとガイド層のIn組成の量を多くしなければならず、ガイド層を超格子にしても十分満足できる結晶性が得られない。

【0006】このように、長波長のレーザ光を得るためには、Inを含むガイド層やIn混晶比を高くした活性層の結晶性を向上させ、自然発光時の波長の半値幅を狭くし、ガイド層等での光の損失、吸収、及び散乱を防止することが望まれる。

【0007】そこで、本発明の目的は、ガイド層や活性層等の結晶性を向上させ、長波長のレーザ光を得ることができる窒化物半導体レーザ素子を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】即ち、本発明は、下記（1）～（3）の構成により本発明の目的を達成するこ

とができる。

(1) 基板上に、少なくともn型クラッド層、n型ガイド層、活性層、p型ガイド層及びp型クラッド層を有する窒化物半導体レーザ素子において、前記n型及び／又はp型クラッド層が、活性層に接近するにつれて、Al組成が少なくなるように組成傾斜されている $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) を有する第1の窒化物半導体を含んでなり、前記活性層が、 $In_bGa_{1-b}N$ ($0 \leq b < 1$) を含んでなる量子井戸構造であり、前記n型及び／又はp型ガイド層が、活性層に接近するにつれて、Inの組成が多くなるように組成傾斜され、但しInの組成が活性層の井戸層のInの組成より少ないようにされている $In_dGa_{1-d}N$ ($0 \leq d < 1$) を有する第2の窒化物半導体を含んでなることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

(2) 前記n型及び／又はp型クラッド層が、前記組成傾斜されている第1の窒化物半導体と、第1の窒化物半導体と組成の異なる第3の窒化物半導体とを積層してなる多層膜層であることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体レーザ素子。

(3) 前記n型及び／又はp型ガイド層が、前記組成傾斜されている第2の窒化物半導体と、第2の窒化物半導体と組成の異なる第4の窒化物半導体とを積層してなる多層膜層であることを特徴とする請求項1又は2に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【0009】つまり、本発明は、n型及び／又はp型ガイド層のInの組成、並びにn型及び／又はp型クラッド層のAlの組成を活性層に接近するにつれて徐々に変える、つまり組成傾斜させることにより、クラッド層、ガイド層、活性層等の結晶性を向上させて、長波長のレーザ光の得られる窒化物半導体レーザ素子を得ることができる。

【0010】本発明者等は、結晶性を向上させるために種々検討の結果、 GaN にInやAlを含ませると結晶性が低下し易くなる傾向があることに加え、さらにAl GaN とIn GaN との格子定数の差が大きいためにクラッド層とガイド層の接合面で結晶の歪みが大きくなり、結晶性が著しく低下するのではないかと考えた。この考察をもとに、本発明者等は、組成傾斜させることで、クラッド層やガイド層内で格子定数の差を徐々に変化させ、各層内及びガイド層とクラッド層との界面で結晶に生じる歪みを減少させることにより、結晶性の向上を達成させた。

【0011】従来、 $GaAs$ 系の半導体において、組成を傾斜させてGRIN-SCH構造とすることにより、しきい値が低くなることが知られているが、この場合、例えば $GaAs$ にAlを含ませても格子定数の差は小さく、結晶の歪みがあまり生じない。

【0012】これに対して、本発明は、結果的にGRIN-SCH構造となり得る組成傾斜をしてはいるもの

の、窒化物半導体を用いて長波長のレーザ光の発振を達成しようとする場合に生じる結晶性の著しい低下という窒化物半導体における特有の問題点を、クラッド層やガイド層の組成を傾斜させることで格子定数の差を徐々に変化させ結晶にかかる歪みを緩和することにより解決するものである。本発明において、組成傾斜されている層としては、n型及びp型クラッド層の少なくとも一方と、n型及びp型ガイド層の少なくとも一方とが組成傾斜されていればよいが、好ましくは、n型又はp型クラッド層と、n型及びp型ガイド層が組成傾斜され、より好ましくはn型クラッド層、n型ガイド層、p型クラッド層及びp型ガイド層が組成傾斜されていると、結晶性の向上の点で好ましい。

【0013】更に、本発明は、n型及びp型クラッド層、並びに、n型及びp型ガイド層が組成傾斜されていると、活性層を挟んで対称的に、活性層に接近するに従い屈折率が徐々に大きくなる構造、GRIN-SCH構造となり、結晶性の向上に加えて、実効的に光を閉じ込めることができしきい値が低下する。このように結晶性が向上すると共に、しきい値が低下することにより、より一層長波長でのレーザ発振がし易くなる。また、上記のように、活性層を中心に屈折率が対称となっていると、反転分布するキャリア濃度の高い部分と利得の生じる部分が一致し、発光効率が良好となる。このような組成傾斜、つまり、クラッド層では活性層に接近するに従いAlの組成を徐々に減少させていき、ガイド層では活性層に接近するにつれてInの組成を徐々に増加させていくと、クラッド層とガイド層との界面において結晶の格子定数の差が小さくなるので、例えば結晶性が不安定であるAl含有のn型クラッド層上に、結晶性の不安定なIn含有のn型ガイド層を積層しても、あるいはIn含有のp型ガイド層上にAl含有のp型クラッド層を積層させても、結晶性良く成長させることができる。

【0014】また更に、本発明は、n型及び／又はp型クラッド層が、前記組成傾斜されている第1の窒化物半導体と、第1の窒化物半導体と組成の異なる第3の窒化物半導体とを積層してなる多層膜層であると、結晶性の向上の点で好ましい。また更に、本発明は、n型及び／又はp型ガイド層が、前記組成傾斜されている第2の窒化物半導体と、第2の窒化物半導体と組成の異なる第4の窒化物半導体とを積層してなる多層膜層であると、結晶性の向上の点で好ましい。

【0015】本発明において、n型及びp型クラッド層と、n型及びp型ガイド層とを、組成傾斜で且つ多層膜層とすると、結晶性の向上及びしきい値の低下のためにより好ましく、長波長のレーザ光の連続発振に加え、連続発振をより長時間おこなうことができる。

【0016】

【発明の実施の形態】本発明について、図1を用いて更に説明する。図1は、本発明の一実施の形態である窒化

物半導体レーザ素子の模式的断面図である。図1には、サファイア上に選択成長させてなる窒化物半導体基板（ELOG基板）1上に、アンドープn型コンタクト層2、不純物ドーパのn型コンタクト層3、クラック防止層4、n型クラッド層5、n型ガイド層6、活性層7、p型電子閉じ込め層8、p型ガイド層9、p型クラッド層10、p型コンタクト層11を順に積層させてなるリッジ形状のストライプを有する窒化物半導体レーザ素子が示されている。そして、この素子は、クラッド層及びガイド層のn型及びp型の少なくとも一方が組成傾斜されている。また、p電極は、リッジ形状のストライプの最上層に形成され、n電極はn型コンタクト層上に形成される。

【0017】まず、本発明のn型クラッド層及びp型クラッド層としては、少なくともA1組成を含む窒化物半導体であり、n型及びp型クラッド層の少なくとも一方が、A1組成が活性層に接近するに従って少なくなるように組成傾斜されている窒化物半導体であればよい。具体的には、n型及びp型クラッド層の少なくとも一方、好ましくは両方が、活性層に接近するに従って、A1組成が少なくなるように組成傾斜されている $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$ 、好ましくは $0 \leq x < 0.7$)を有する第1の窒化物半導体を含んでなる。上記第1の窒化物半導体は、活性層に接近するに従って、A1組成が少なくなるように $Al_xGa_{1-x}N$ で示される式のxの値を徐々に少なくして、活性層に最も接近した部分には、A1を含まないGaNを成長させると、結晶性及び光閉じ込めの点で好ましい。このように、A1組成を活性層に接近させるに従って小さくしていくことにより、徐々に格子定数を変化させることができ、クラッド層内での結晶の歪みを小さくし、クラッド層内のクラックの発生を防止して結晶性を向上させることができる。更に、クラッド層とガイド層との界面でクラッド層内のA1組成を最も少なくすることで、クラッド層とガイド層との格子定数の差が小さくなり、界面での結晶に生じる歪みを低減でき、結晶性を良好にすることができる。

【0018】上記第1の窒化物半導体において、A1組成が活性層に接近するにつれて少なくなるように組成傾斜する方法としては、特に限定されないが、例えば $Al_xGa_{1-x}N$ で示されるクラッド層の成長時に、A1組成となる原料ガスの供給量を、n型クラッド層では徐々に少なくし、一方p型クラッド層では徐々に多くするように、バルブの開閉を調節する、あるいはA1組成の異なる複数の第1の窒化物半導体を積層することにより、A1混晶比の異なる複数の第1の窒化物半導体を積層させてクラッド層のA1組成を傾斜させる。

【0019】更にまた、上記のように組成傾斜させると、屈折率が、活性層に向かって徐々に大きくなっていくので、光を閉じ込めやすくなり、好ましくはn型及びp型クラッド層を組成傾斜させると、活性層を挟んで対

称的になり、実効的に光の閉じ込めが良好となる。

【0020】更に、本発明において、n型クラッド層及びp型クラッド層の少なくとも一方、好ましくは両方が、組成傾斜されてなる第1の窒化物半導体と、第1の窒化物半導体と組成の異なる第3の窒化物半導体とを積層してなる多層膜層であることが好ましい。本発明において、第3の窒化物半導体としては、第1の窒化物半導体と組成が異なれば特に限定されないが、好ましくは第1の窒化物半導体よりもバンドギャップエネルギーが小さい窒化物半導体であり、具体的には、 $In_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $a < e$)からなる窒化物半導体が挙げられ、好ましくはxが0であるGaNである。このように多層膜層とした場合に、多層膜層中の複数の第1の窒化物半導体は、活性層に接近するに従って、A1組成が小さくなるようにされている。クラッド層が多層膜層である場合の単一層の膜厚は、特に限定されないが、好ましくは100オングストローム以下、より好ましくは70オングストローム以下、更に好ましくは50オングストローム以下であり、好ましくは10オングストローム以上である。クラッド層が組成傾斜された第1の窒化物半導体を含んでなる多層膜層であると、組成傾斜による結晶性の向上に加えて、多層膜層を構成する各層の単一膜厚を薄く、好ましくは上記単一膜厚とすることにより、窒化物半導体の弾性臨界膜厚以下となり、クラックの発生を防止し易くなり、より良好な結晶性の膜質の良いクラッド層を成長できる。また、第3の窒化物半導体が、xが0に近い、つまりIn組成の少ない窒化物半導体、例えば第3の窒化物半導体がGaNであると、特に結晶性の良いGaNの第3の窒化物半導体がバッファ層のような作用をして、 $AlGaIn$ の第1の窒化物半導体を結晶性良く成長し易くなり、クラッド層全体の結晶性が向上する。また、第3の窒化物半導体として、 $InAlN$ や $InGaAlN$ などを用いてもよい。

【0021】本発明において、n型クラッド層の膜厚は、特に限定されないが、好ましくは $3\mu m$ 以下、より好ましくは $2\mu m$ 以下、さらに好ましくは $1.5 \sim 0.1\mu m$ である。膜厚が上記範囲であると順方向電圧(Vf)の低下及びクラック発生防止の点で好ましい。また本発明において、p型クラッド層の膜厚は、特に限定されないが、好ましくは $2\mu m$ 以下、より好ましくは $1.5\mu m$ 以下、さらに好ましくは $1 \sim 0.05\mu m$ である。膜厚が上記範囲であると、面状態が良好となり、クラック発生防止の点で好ましい。

【0022】本発明において、n型クラッド層及びp型クラッド層は、バルク抵抗を低くし順方向電圧を低減するため、不純物がドーパされていることが好ましい。不純物は、クラッド層を構成するいずれの層にドーパされていてもよく、例えばクラッド層がA1の組成傾斜されている第1の窒化物半導体からなる場合、A1組成の変化に関係なく一定量をドーパされても、A1組成が活性

層に接近するに従って小さくなるのと同時に、活性層に接近するに従って少なくなるように調整されドーピングされていてもよい。好ましい不純物のドーピングの方法としては、活性層に接近するに従って小さくなるようにドーピングされることが、クラッド層による活性層付近の光吸収を少なくし、光損失が低下してしきい値が低下する傾向がある。更にクラッド層の不純物が活性層に接近するに従って少なくなっていると、クラッド層とガイド層との界面には、不純物が少なく、結晶に生じる歪みを小さくする点で好ましい。

【0023】また、クラッド層が組成傾斜されている第1の窒化物半導体と、第3の窒化物半導体を積層してなる多層膜層である場合、不純物は、いずれか一方の層又は両方の層にドーピングされ、好ましくはいずれか一方にドーピングされ、より好ましくは第3の窒化物半導体にドーピングされる。クラッド層に不純物をドーピングする場合、第3の窒化物半導体がGaNからなり、この第3の窒化物半導体に不純物がドーピングされていると、結晶性を低下させることなくバルク抵抗を低くでき好ましい。不純物が両方の窒化物半導体にドーピングされている場合、不純物のドーピング量は、異なっても同一でもよく、多層膜層を構成している複数の層において隣接する単一の窒化物半導体層の不純物濃度が異なることが好ましい。

【0024】本発明において用いられるn型不純物としては、Si、Ge、Sn、S、O等が挙げられ、好ましくはSi、Snである。本発明において用いられるp型不純物としては、Mg、Zn、Be、Caが挙げられ、好ましくはMgである。

【0025】n型クラッド層のn型不純物濃度は、 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以下、より好ましくは $5 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ である。不純物濃度がこの範囲であるとVf及び結晶性の点で好ましい。n型不純物がAl組成の傾斜と共に変化する場合、上記不純物濃度の範囲内で、適宜調整される。p型クラッド層のp型不純物濃度は、上記n型不純物濃度の値と同様である。p型不純物濃度がAl組成の傾斜と共に変化する場合は、上記不純物濃度の範囲内で適宜調整される。

【0026】次に、本発明のn型ガイド層及びp型ガイド層としては、少なくともIn組成を含む窒化物半導体であり、さらにn型及びp型ガイド層の少なくとも一方が、In組成が活性層に接近するに従って多くなるように組成傾斜されている窒化物半導体であればよい。具体的には、n型及びp型ガイド層の少なくとも一方、好ましくは両方が、活性層に接近するにつれて、In組成が多くなるように組成傾斜されている $\text{In}_d\text{Ga}_{1-d}\text{N}$ ($0 \leq d < 1$ 、好ましくは $0 \leq d < 0.8$)を有する第2の窒化物半導体層を含んでなる。第2の窒化物半導体のIn組成の量は、活性層の井戸層のIn組成の量より少なくても、多くてもよく、好ましくは同じ量かそれ以下で

あるように調整される。

【0027】上記第2の窒化物半導体は、活性層に接近するに従って、In組成が少なくなるように $\text{In}_d\text{Ga}_{1-d}\text{N}$ で示される式のdの値を徐々に大きくして、活性層に最も接近した部分では、In組成の最も多いガイド層を形成する。このようにIn組成を組成傾斜させることで、前記クラッド層との界面でのクラッド層の格子定数と、ガイド層の格子定数との差が最小となり、結晶にかかる歪みを緩和して、n型クラッド層上に成長させるn型ガイド層、及びp型ガイド層上に成長させるp型クラッド層の結晶性を向上させることができる。更に、活性層に最も近接している部分のガイド層には、ガイド層内でIn組成が最も多くなるようにされているので、In組成を多く含む活性層の結晶性をも良好にすることができる。ガイド層の結晶性が向上すると、活性層で発光した光がガイド層を導波する際に、光の損失、吸収、又は散乱などを防止し、光の閉じ込めが向上する。

【0028】上記第2の窒化物半導体において、In組成が活性層に接近するにつれて多くなるように組成傾斜する方法としては、特に限定されないが、上記のクラッド層と同様に、例えば $\text{In}_d\text{Ga}_{1-d}\text{N}$ で示されるガイド層の成長時にIn組成となる原料ガスの供給量を、n型ガイド層では徐々に多くし、一方p型ガイド層では徐々に少なくするように、バルブの開閉を調節する、あるいはIn組成の異なる複数の第2の窒化物半導体を積層することにより、In混晶比の異なる複数の第2の窒化物半導体を積層させてガイド層のIn組成を傾斜させる。

【0029】更にまた、上記のように組成傾斜させると、屈折率が、活性層に向かって徐々に大きくなっていくので、光を閉じ込めやすくなり、好ましくはn型及びp型ガイド層を組成傾斜させると、活性層を挟んで対称的になり、実効的に光の閉じ込めが良好となる。更に、n型及びp型ガイド層が組成傾斜され、上記n型及びp型クラッド層が組成傾斜されていると、活性層に接近するに従ってクラッド層から徐々に屈折率が大きくなり、結晶性の向上に加えて、実効的に光を良好に閉じ込めることができ好ましい。

【0030】更に、本発明において、n型ガイド層及びp型ガイド層の少なくとも一方、好ましくは両方が、組成傾斜されてなる第2の窒化物半導体と、第2の窒化物半導体と組成の異なる第4の窒化物半導体とを積層してなる多層膜層であることが好ましい。本発明において、第4の窒化物半導体としては、第1の窒化物半導体と組成が異なれば特に限定されないが、例えば $\text{In}_f\text{Ga}_{1-f}\text{N}$ ($0 \leq f < 1$)又は $\text{Al}_g\text{Ga}_{1-g}\text{N}$ ($0 \leq g < 1$)からなるものが挙げられる。好ましくは、第4の窒化物半導体がGaNであると、ガイド層の結晶性を向上させるのに好ましい。このように多層膜層とした場合に、多層膜層中の複数の第2の窒化物半導体は、活性層に接近するに従って、In組成が多くなるようにされている。ガ

イド層が多層膜層である場合の単一層の膜厚は、特に限定されないが、好ましくは100オングストローム以下、より好ましくは70オングストローム以下、更に好ましくは50オングストローム以下であり、好ましくは10オングストローム以上である。ガイド層が組成傾斜された第2の窒化物半導体を含んでなる多層膜層であると、組成傾斜による結晶性の向上に加えて、多層膜層を構成する各層の単一膜厚を薄く、好ましくは上記単一膜厚とすることにより、窒化物半導体の弾性臨界膜厚以下となり、より良好な結晶性の膜質の良いガイド層を成長

できる。また、第4の窒化物半導体が、Ga_{1-x}Nである、多層膜層を形成する際に、結晶性のよいGa_{1-x}Nがバッファ層のような作用をして、第2の窒化物半導体であるInGa_{1-x}Nを結晶性良く成長し易くなり、ガイド層全体の結晶性が向上する。

【0031】本発明において、n型及びp型ガイド層の膜厚は、特に限定されないが、好ましくは5μm以下、より好ましくは3μm以下、さらに好ましくは2.5〜0.05μmである。膜厚が上記範囲であると結晶性、V_f、及び光閉じこめの点で好ましい。

【0032】また、本発明において、n型ガイド層は、n型不純物がドーピングされていてよく、好ましくはアンドープである。第2の窒化物半導体はIn組成を含んでなるため、不純物をドーピングしない場合でもn型を示しているため、結晶性のよいアンドープとするとn型ガイド層の結晶性が良好となり好ましい。また、本発明において、p型ガイド層は、p型不純物がドーピングされていてよく、好ましくはp型不純物がドーピングされている。In組成を含んでなるガイド層はアンドープではn型を示すため、p型ガイド層にp型不純物をドーピングして、バルク抵抗を低くする等の点で好ましい。

【0033】不純物は、ガイド層を構成するいずれの層にドーピングされていてよく、例えばガイド層がIn組成の組成傾斜されている第1の窒化物半導体からなる場合、In組成の変化に関係なく一定量をドーピングされても、In組成が活性層に接近するに従って小さくなるのと同時に、活性層に接近するに従って多くなるように調整されドーピングされていてよい。

【0034】また、ガイド層が組成傾斜されている第2の窒化物半導体と、第4の窒化物半導体とを積層してなる多層膜層である場合、不純物は、いずれか一方の層又は両方の層にドーピングされていてよいが、好ましくはいずれか一方にドーピングされ、より好ましくは結晶性の点から第4の窒化物半導体にドーピングされる。ガイド層に不純物をドーピングする場合、第4の窒化物半導体がGa_{1-x}Nからなり、この第4の窒化物半導体に不純物がドーピングされていると、結晶性を低下させることなく、バルク抵抗を低くすることができ好ましい。不純物が、第2の窒化物半導体及び第4の窒化物半導体の両方にドーピングされている場合、不純物のドーピング量は、異なっても同一でもよく、

多層膜層を構成している複数の層において隣接する単一の窒化物半導体層の不純物濃度が異なることが好ましい。

【0035】本発明のガイド層に用いられるn型不純物及びp型不純物としては、前記クラッド層にドーピング可能な不純物と同様のものを挙げることができる。n型ガイド層にn型不純物をドーピングする場合のn型不純物濃度は、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下、より好ましくは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下、最も好ましくは結晶性が良好なアンドープである。n型不純物がIn組成の傾斜と共に変化する場合、上記不純物濃度の範囲内で、適宜調整される。p型ガイド層のp型不純物濃度は、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下、より好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ である。p型不純物濃度がこの範囲であると、抵抗、結晶性の点で好ましい。不純物濃度がIn組成の傾斜と共に変化する場合は、上記不純物濃度の範囲内で適宜調整される。

【0036】次に、本発明の活性層としては、In_aGa_{1-b}N ($0 \leq b < 1$)を含んでなる単一量子井戸構造又は多重量子井戸構造であり、好ましくは多重量子井戸構造である。多重量子井戸構造とすると、単一量子井戸構造より発光出力が向上し好ましい。

【0037】本発明の活性層としては、特に限定されないが、発振波長が400nmより長波長、好ましくは発振波長が420nm以上の長波長となるように井戸層のIn組成比が調整されているものが挙げられる。更に、本発明の活性層の具体例としては、活性層が多重量子井戸構造である場合、例えば近似的に、好ましい井戸層としては、bが0.1〜0.6のIn_aGa_{1-b}Nであり、好ましい障壁層としては、bが0〜0.1のIn_aGa_{1-b}Nが挙げられる。また活性層を構成する井戸層及び障壁層のいずれか一方または両方に不純物をドーピングしてもよい。好ましくは障壁層に不純物をドーピングさせると、しきい値が低下し好ましい。不純物としては、n型でもp型でもよい。井戸層の膜厚としては、100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、好ましくは10オングストローム以上であり、より好ましくは30〜60オングストロームである。また、障壁層の膜厚としては、150オングストローム以下、好ましくは100オングストローム以下、好ましくは10オングストローム以上であり、より好ましくは90〜150オングストロームである。

【0038】活性層が多重量子井戸構造である場合、活性層を構成する障壁層と井戸層の積層順としては、障壁層から始まり井戸層で終わっても、障壁層から始まり障壁層で終わっても、井戸層から始まり障壁層で終わっても、また井戸層から始まり井戸層で終わってもよい。好ましくは障壁層から始まり、井戸層と障壁層とのペアを2〜5回繰り返してなるもの、好ましくは井戸層と障壁

層とのペアを3回繰り返してなるものがしきい値を低くし寿命特性を向上させるのに好ましい。

【0039】活性層の井戸層のIn組成比の調整としては、所望する発振波長となるようにIn組成比を調整してあればよく、具体的な値としては、上記にも近似的な一例を挙げたが、例えば下記の理論値の計算式から求められる値を近似的な値として挙げるができる。しかし、実際にレーザ素子を動作させて得られる発振波長は、量子井戸構造をとる量子単位が形成されるため、発振波長のエネルギー(Eλ)がInGaNのバンドギャップエネルギー(Eg)よりも図7のように大きくなり、計算式などから求められる発振波長より、短波長側へシフトする傾向がある。

【0040】[理論値の計算式]

$$Eg = (1-x)3.40 + 1.95x - Bx(1-x)$$

$$\text{波長 (nm)} = 1240 / Eg$$

Eg: InGaN井戸層のバンドギャップエネルギー

x: Inの組成比

3.40 (eV): GaNのバンドギャップエネルギー

1.95 (eV): InNのバンドギャップエネルギー

B: ボーイングパラメータを示し、1~6 eVとする。

このようにボーイングパラメータが変動するのは、最近の研究では、SIMS分析などから、従来は結晶に歪みがないと仮定して1 eVとされていたが、In組成比の割合や膜厚が薄い場合等により歪みの生じる程度が異なり、1 eV以上となることが明らかとなってきているためである。

【0041】上記のように井戸層のSIMS分析などから求められる具体的なIn組成比から考えられる発振波長と、実際に発振させたときの発振波長とは、やや相違があるものの、実際の発振波長が所望する波長となるように調整される。

【0042】本発明において、レーザ素子を構成する上記以外の層構造としては、特に限定されず、例えば前記図1に示す層構造が挙げられ、以下にそれらの一実施の形態を示す。

【0043】選択成長のELOG基板について以下に説明する。ELOG基板を得るための選択成長は、窒化物半導体の縦方向の成長を少なくとも部分的に一時的止めて、窒化物半導体の横方向の成長を利用して転位を抑制することのできる成長方法であれば特に限定されない。例えば具体的に、窒化物半導体と異なる材料からなる異種基板上に、窒化物半導体が成長しないかまたは成長しにくい材料からなる保護膜を部分的に形成し、その上から窒化物半導体を成長させることにより、保護膜が形成されていない部分から窒化物半導体が成長し、成長を続けることにより保護膜上に向かって横方向に成長することにより厚膜の窒化物半導体を得られる。

【0044】異種基板としては、窒化物窒化物半導体と

異なる材料よりなる基板であれば特に限定されず、例えば、図2に示すC面、R面、A面を主面とするサファイア、スピネル(MgAl₂O₄)のような絶縁性基板、SiC(6H、4H、3Cを含む)、ZnS、ZnO、GaAs、Si、及び窒化物半導体と格子整合する酸化物基板等、従来知られている窒化物半導体と異なる基板材料を用いることができる。上記の中で好ましい異種基板としては、サファイアであり、更に好ましくはサファイアのC面である。更に、ELOG基板の内部に微細なクラックの発生を防止できる等の点から、サファイアのC面がステップ状にオフアングルされ、オフアングル角θ(図3に示されるθ)が0.1°~0.3°の範囲のものが好ましい。オフアングル角θが0.1°未満であるとレーザ素子の特性が安定し易くなり、またELOG基板の内部に微細なクラックが発生しやすくなる傾向があり、一方オフ角が0.3°を超えると、ELOG成長の窒化物半導体の面状態がステップ状になり、その上に素子構造を成長させるとステップが若干強調され、素子のショート及びしきい値上昇を招き易くなる傾向がある。ここで、上記の微細なクラックは、結晶の格子定数の相違による転位より微細なものであり、ELOG基板内部から発生する傾向のものである。

【0045】上記のようなステップ状にオフアングルされたサファイア等の異種基板上に、保護膜を、直接又は一旦窒化物半導体を成長させてから形成する。保護膜としては、保護膜表面に窒化物半導体が成長しないかまたは成長しにくい性質を有する材料であれば特に限定されないが、例えば酸化ケイ素(SiO_x)、窒化ケイ素(Si₃N₄)、酸化チタン(TiO_x)、酸化ジルコニウム(ZrO_x)等の酸化物、窒化物、またこれらの多層膜の他、1200℃以上の融点を有する金属等を用いることができる。好ましい保護膜材料としては、SiO₂及びSiNが挙げられる。保護膜材料を窒化物半導体等の表面に形成するには、例えば蒸着、スパッタ、CVD等の気相製膜技術を用いることができる。また、部分的(選択的)に形成するためには、フォトリソグラフィ技術を用いて、所定の形状を有するフォトリソマスクを製作し、そのフォトリソマスクを介して、前記材料を気相製膜することにより、所定の形状を有する保護膜を形成できる。保護膜の形状は、特に限定されないが、例えばドット、ストライプ、碁盤面状の形状で形成でき、好ましくはストライプ状の形状でストライプがオリエンテーションフラット面(サファイアのA面)に垂直になるように形成される。また保護膜が形成されている表面積は、保護膜が形成されていない部分の表面積より大きい方が転位を防止して良好な結晶性を有する窒化物半導体基板を得ることができる。

【0046】また、保護膜がストライプ形状である場合の保護膜のストライプ幅と保護膜が形成されていない部分(窓部)の幅との関係は、10:3以上、好ましくは

16~18:3である。保護膜のストライプ幅と窓部の幅が上記の関係にあると、窒化物半導体が良好の保護膜を覆い易くなり、且つ転位を良好に防止することができる。保護膜のストライプ幅としては、例えば6~27 μ m、好ましくは11~24 μ mであり、窓部の幅としては、例えば2~5 μ m、好ましくは2~4 μ mである。また、ELOG基板上に素子構造を形成しp型窒化物半導体層の最上層にリッジ形状のストライプを形成する場合、リッジ形状のストライプが、保護膜上部であって、且つ保護膜の中心部分を避けて形成されていることがしきい値を低下させることができ、素子の信頼性を向上させるのに好ましい。このことは、保護膜上部の窒化物半導体の結晶性は、窓部上部のその結晶性に比べて良好であるためしきい値を低下させるのに好ましいからである。また保護膜の中心付近は、窓部から成長した隣接する窒化物半導体同士が横方向の成長によって接合する部分でありこのような接合箇所空隙の生じる場合があり、この空隙の上部にリッジ形状のストライプが形成されると、レーザ素子の動作中に空隙から転位が伝播し易いため素子の信頼性が劣化する傾向があるからである。

【0047】保護膜は、異種基板に直接形成されてもよいが、低温成長のバッファ層を形成させ、更に高温成長のバッファ層を成長させた上に、形成させることが転位を防止するのに好ましい。低温成長のバッファ層としては、例えばAlN、Ga_{1-x}N、AlGa_{1-x}N、及びInGa_{1-x}N等のいずれかを900℃以下200℃以上の温度で、膜厚数十オングストローム~数百オングストロームで成長させてなるものである。この低温成長のバッファ層は、異種基板と高温成長のバッファ層との格子定数不正を緩和し転位の発生を防止するのに好ましい。高温成長のバッファ層としては、アンドープのGa_{1-x}N、n型不純物をドーブしたGa_{1-x}N、またSiをドーブしたGa_{1-x}Nを用いることができ、好ましくはアンドープのGa_{1-x}Nである。またこれらの窒化物半導体は、高温、具体的には900℃~1100℃、好ましくは1050℃でバッファ層上に成長される。膜厚は特に限定されないが、例えば1~20 μ m、好ましくは2~10 μ mである。

【0048】次に保護膜を形成した上に、窒化物半導体を選択成長させてELOG基板を得る。この場合、成長させる窒化物半導体としては、アンドープのGa_{1-x}N又は不純物(例えばSi、Ge、Sn、Be、Zn、Mn、Cr、及びMg)をドーブしたGa_{1-x}Nが挙げられる。成長温度としては、例えば900℃~1100℃、より具体的には1050℃付近の温度で成長させる。不純物がドーブされていると転位を抑制するのに好ましい。保護膜上に成長させる初期は、成長速度をコントロールし易いMOCVD(有機金属化学気相成長法)等で成長させ、保護膜がELOG成長の窒化物半導体で覆われた後の成長をHVPE(ハライド気相成長法)等で成長させてもよい。

【0049】また、Ga_{1-x}N基板としては、上記方法に加えて、異種基板上に一旦成長された窒化物半導体に凹凸を形成し、凹不底部及び/又は凸部上部に保護膜を形成し、この上から再び窒化物半導体を成長させてなるものを用いることができる。また、前記窒化物半導体に凹凸を形成し保護膜を有さない状態(凹部底部及び凸部上部に保護膜を形成されていない状態)で、再び窒化物半導体を形成してなるものを用いることができる。

【0050】上記のELOG基板上に、素子構造を成長させる。まず、n型コンタクト層2をELOG基板1上に成長させる。n型コンタクト層としては、n型不純物(好ましくはSi)をドーブされたAl_{1-x}Ga_xN(0<x<1)を成長させ、好ましくはxが0.01~0.05のAl_{1-x}Ga_xNを成長させる。n型コンタクト層がAlを含む3元混晶で形成されると、ELOG基板1に微細なクラックが発生していても、微細なクラックの伝播を防止することができ、更に従来の問題点であったELOG基板1とn型コンタクト層との格子定数及び熱膨張係数の相違によるn型コンタクト層への微細なクラックの発生を防止することができ好ましい。n型不純物のドーブ量としては、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ である。このn型コンタクト層2にn電極が形成される。n型コンタクト層2の膜厚としては、1~10 μ mである。また、ELOG基板1とn型コンタクト層2との間に、アンドープのAl_{1-x}Ga_xN(0<x<1)を成長させてもよく、このアンドープの層を成長させると結晶性が良好となり、寿命特性を向上させるのに好ましい。アンドープn型コンタクト層の膜厚は、数 μ mである。

【0051】次に、クラック防止層3をn型コンタクト層2上に成長させる。クラック防止層3としては、SiドーブのIn_{1-x}Ga_xN(0.05 \leq x \leq 0.2)を成長させ、好ましくはxが0.05~0.08のIn_{1-x}Ga_xNを成長させる。このクラック防止層3は、省略することができるが、クラック防止層3をn型コンタクト層2上に形成すると、素子内のクラックの発生を防止するのに好ましい。Siのドーブ量としては、 $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ である。また、クラック防止層3を成長させる際に、Inの混晶比を大きく(x \geq 0.1)すると、クラック防止層3が、活性層6から発光しn型クラッド層4から漏れ出した光を吸収することができ、レーザ光のファーフールドパターンの乱れを防止することができ好ましい。クラック防止層の膜厚としては、結晶性を損なわない程度の厚みであり、例えば具体的には0.05~0.3 μ mである。

【0052】次に、n型クラッド層4をクラック防止層3上に成長させる。n型クラッド層4としては、前記した通りである。

【0053】次に、n型ガイド層5をn型クラッド層4上に成長させる。n型ガイド層5としては、前記した通

りである。

【0054】次に、活性層6をn型ガイド層5上に成長させる。活性層としては、前記した通りである。

【0055】次に、p型電子閉じ込め層7を活性層6上に成長させる。p型電子閉じ込め層7としては、Mgドープの $\text{Al}_d\text{Ga}_{1-d}\text{N}$ ($0 < d \leq 1$) からなる少なくとも1層以上を成長させてなるものである。好ましくはdが0.1~0.5のMgドープの $\text{Al}_d\text{Ga}_{1-d}\text{N}$ である。p型電子閉じ込め層7の膜厚は、10~1000オングストローム、好ましくは50~200オングストロームである。膜厚が上記範囲であると、活性層6内の電子を良好に閉じ込めることができ、且つバルク抵抗も低く抑えることができ好ましい。またp型電子閉じ込め層7のMgのドーパ量は、 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ である。ドーパ量がこの範囲であると、バルク抵抗を低下させることに加えて、後述のnドープで成長させるp型ガイド層へMgが良好に拡散され、薄膜層であるp型ガイド層8にMgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ の範囲で含有させることができる。またp型電子閉じ込め層7は、低温、例えば850~950℃程度の活性層を成長させる温度と同様の温度で成長させると活性層の分解を防止することができ好ましい。またp型電子閉じ込め層7は、低温成長の層と、高温、例えば活性層の成長温度より100℃程度の温度で成長させる層との2層から構成されていてもよい。このように、2層で構成されていると、低温成長の層が活性層の分解を防止し、高温成長の層がバルク抵抗を低下させるので、全体的に良好となる。またp型電子閉じ込め層7が2層から構成される場合の各層の膜厚は、特に限定されないが、低温成長層は10~50オングストローム、高温成長層は50~150オングストロームが好ましい。

【0056】次に、p型ガイド層8をp型電子閉じ込め層7上に成長させる。p型ガイド層8としては、前記した通りである。

【0057】次に、p型クラッド層9をp型ガイド層8に成長させる。p型クラッド層としては、前記した通りである。

【0058】次に、p型コンタクト層10をp型クラッド層9上に成長させる。p型コンタクト層としては、MgドープのGa_{1-x}Nyからなる窒化物半導体層を成長させてなるものである。膜厚は10~200オングストロームである。Mgのドーパ量は $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ である。このよう膜厚とMgのドーパ量を調整することにより、p型コンタクト層のキャリア濃度が上昇し、p電極をのオーミックがとりやすくなる。

【0059】本発明の素子において、リッジ形状のストライプは、p型コンタクト層からエッチングされてp型コンタクト層よりも下側（基板側）までエッチングされることにより形成される。例えば図1に示すようなp型

コンタクト層10からp型クラッド層9の途中までエッチングしてなるストライプ、又はp型コンタクト層10からn型コンタクト層2までエッチングしてなるストライプなどが挙げられる。

【0060】エッチングして形成されたリッジ形状のストライプの側面やその側面に連続した窒化物半導体層の平面に、例えば図1に示すように、レーザ導波路領域の屈折率より小さい値を有する絶縁膜が形成されている。ストライプの側面等に形成される絶縁膜としては、例えば、屈折率が約1.6~2.3付近の値を有する、Si、V、Zr、Nb、Hf、Taよりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む酸化物や、BN、AlN等が挙げられ、好ましくは、Zr及びHfの酸化物のいずれか1種以上の元素や、BNである。さらにこの絶縁膜を介してストライプの最上層にあるp型コンタクト層10の表面にp電極が形成される。エッチングして形成されるリッジ形状のストライプの幅としては、0.5~4μm、好ましくは1~3μmである。ストライプの幅がこの範囲であると、水平横モードが単一モードになり易く好ましい。また、エッチングがp型クラッド層9とレーザ導波路領域との界面よりも基板側にかけてなされていると、アスペクト比を1に近づけるのに好ましい。以上のように、リッジ形状のストライプのエッチング量や、ストライプ幅、さらにストライプの側面の絶縁膜の屈折率などを特定すると、単一モードのレーザ光が得られ、さらにアスペクト比を円形に近づけるられ、レーザビームやレンズ設計が容易となり好ましい。また本発明の素子において、p電極やn電極等は従来公知の種々のものを適宜選択して用いることができる。

【0061】また、本発明において、窒化物半導体の成長は、MOVPE（有機金属気相成長法）、MOCVD（有機金属化学気相成長法）、HVPE（ハライド気相成長法）、MBE（分子線エビタキシー法）等、窒化物半導体を成長させるのに知られている全ての方法を適用できる。

【0062】

【実施例】以下に本発明の一実施の形態である実施例を示す。しかし本発明はこれに限定されない。

【0063】【実施例1】実施例1として、図1に示される本発明の一実施の形態である窒化物半導体レーザ素子を製造する。また発明の詳細な説明に記載したように、In組成比の理論値の計算式の値と、量子井戸構造をとる量子準位の形成による短波長へのシフトなどによる実際の発振波長とは異なるために、実施例の活性層のIn組成比は近似的な値である。

【0064】異種基板として、図3に示すようにステップ状にオフアングルされたC面を主面とし、オフアングル角 $\theta = 0.15^\circ$ 、ステップ段差おおよそ20オングストローム、テラス幅Wおおよそ800オングストロームであり、オリフラ面をA面とし、ステップがA面に垂直で

あるサファイア基板を用意する。このサファイア基板を反応容器内にセットし、温度を510℃にして、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG（トリメチルガリウム）を用い、サファイア基板上にGaNよりなる低温成長のバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させる。バッファ層成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させ、1050℃になったら、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガスを用い、アンドープのGaNからなる高温成長のバッファ層を5μmの膜厚で成長させる。次に、高温成長のバッファ層を積層したウェーハ上にストライプ状のフォトマスクを形成し、CVD装置によりストライプ幅18μm、窓部の幅3μmのSiO₂よりなる保護膜を0.1μmの膜厚で形成する。保護膜のストライプ方向はサファイアA面に対して垂直な方向である。保護膜形成後、ウェーハを反応容器に移し、1050℃にて、原料ガスにTMG、アンモニアを用い、アンドープのGaNよりなる窒化物半導体層を15μmの膜厚で成長させELOG基板1とする。得られたELOG基板1上に以下の素子構造を積層成長させる。

【0065】（アンドープn型コンタクト層）[図1には図示されていない]

ELOG基板1上に、1050℃で原料ガスにTMA（トリメチルアルミニウム）、TMG、アンモニアガスを用いアンドープのAl_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなるn型コンタクト層を1μmの膜厚で成長させる。

（n型コンタクト層2）次に、同様の温度で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアガスを用い、不純物ガスにシランガス（SiH₄）を用い、Siを $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたAl_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなるn型コンタクト層2を3μmの膜厚で成長させる。成長されたn型コンタクト層2には、微細なクラックが発生しておらず、微細なクラックの発生が良好に防止されている。また、ELOG基板1に微細なクラックが生じていても、n型コンタクト層2を成長させることで微細なクラックの伝播を防止でき結晶性の良好な素子構造を成長させることができる。結晶性の改善は、n型コンタクト層2のみの場合より、上記のようにアンドープn型コンタクト層を成長させることによりより良好となる。

【0066】（クラック防止層3）次に、温度を800℃にして、原料ガスにTMG、TMI（トリメチルインジウム）及びアンモニアを用い、不純物ガスにシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなるクラック防止層3を0.15μmの膜厚で成長させる。

【0067】（n型クラッド層4）次に、温度を1050℃にして、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、アンドープのAl_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる第1の窒化物半導体を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、TMAを止め、不純物ガスとしてシランガ

スを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなる第3の窒化物半導体を25オングストロームの膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ140回繰り返して第1の窒化物半導体と第3の窒化物半導体を積層し、総膜厚7000オングストロームの多層膜（超格子構造）よりなるn型クラッド層4を成長させる。但し、2回目以降の第1の窒化物半導体のAl組成は、徐々に少なくなるように原料ガスのTMAの流量を調整して、140回目の第1の窒化物半導体には、Al組成が含まれないGaNとなるようにAl組成が組成傾斜されている。

【0068】（n型ガイド層5）次に、温度を850℃にして、原料ガスにTMI、TMG及びアンモニアを用い、アンドープのIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる第2の窒化物半導体を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、TMIを止め、アンドープのGaNよりなる第4の窒化物半導体を25オングストロームの膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ40回繰り返して第2の窒化物半導体と第4の窒化物半導体を積層し、総膜厚2000オングストロームの多層膜よりなるn型ガイド層を成長させる。但し、第2の窒化物半導体のIn組成比を示すdの値を、1回目は0とし、2回目以降は徐々に値を大きくしていき、活性層に最も接近している第2の窒化物半導体のdの値が0.1となるように、In組成が組成傾斜されている。

【0069】（活性層6）次に、温度を800℃にして、原料ガスにTMI、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる障壁層を100オングストロームの膜厚で成長させる。続いて、シランガスを止め、アンドープのIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。この操作を4回繰り返して、最後に障壁層を積層した総膜厚620オングストロームの多重量子井戸構造（MQW）の活性層6を成長させる。

【0070】（p型電子閉じ込め層7）次に、同様の温度で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてCp₂Mg（シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、Mgを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたAl_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなるp型電子閉じ込め層7を100オングストロームの膜厚で成長させる。

【0071】（p型ガイド層8）次に、温度を850℃にして、原料ガスにTMI、TMG及びアンモニアを用い、アンドープのIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる第2の窒化物半導体を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、TMIを止め、不純物ガスとしてCp₂Mgを用い、Mgを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなる第4の窒化物半導体を25オングストロームの膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ40回繰り返して第2の窒化物半導体と第4の窒化物半導体を積層

し、総膜厚2000オングストロームの多層膜層よりなるp型ガイド層を成長させる。但し、第2の窒化物半導体のIn組成比を示すdの値を、1回目は0.1とし、2回目以降は徐々に値を小さくしていき、活性層に最も遠い第2の窒化物半導体のdの値が0となるように、In組成が組成傾斜されている。

【0072】(p型クラッド層9)次に、温度を900℃にして、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、アンドープのAl、Ga、Nよりなる第1の窒化物半導体を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、TMAを止め、不純物ガスとしてCp₂Mgを用い、Mgを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたGa_{0.5}Nよりなる第2の窒化物半導体を25オングストロームの膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ140回繰り返して第1の窒化物半導体と第3の窒化物半導体を積層し、総膜厚7000オングストロームの多層膜(超格子構造)よりなるp型クラッド層9を成長させる。但し、第1の窒化物半導体のAl組成比を示すaの値を、1回目は0とし、2回目以降は徐々にaの値を大きくしていき、活性層に最も遠い第1の窒化物半導体のaの値が0.15となるように、Al組成が組成傾斜されている。

【0073】(p型コンタクト層10)次に、同様の温度で、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてCp₂Mgを用い、Mgを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたGa_{0.5}Nよりなるp型コンタクト層10を150オングストロームの膜厚で成長させる。

【0074】反応終了後、反応容器内において、ウェハを窒素雰囲気中、700℃でアニーリングを行い、p型層を更に低抵抗化する。アニーリング後、ウェハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層の表面にSiO₂よりなる保護膜を形成して、RIE(反応性イオンエッチング)を用いSiCl₄ガスによりエッチングし、図4に示すように、n電極を形成すべきn側コンタクト層2の表面を露出させる。次に図4(a)に示すように、最上層のp側コンタクト層10のほぼ全面に、PVD装置により、Si酸化物(主として、SiO₂)よりなる第1の保護膜61を0.5μmの膜厚で形成した後、第1の保護膜61の上に所定の形状のマスクをかけ、フォトレジストよりなる第3の保護膜63を、ストライプ幅1.8μm、厚さ1μmで形成する。次に、図4(b)に示すように第3の保護膜63形成後、RIE(反応性イオンエッチング)装置により、CF₄ガスを用い、第3の保護膜63をマスクとして、前記第1の保護膜をエッチングして、ストライプ状とする。その後エッチング液で処理してフォトレジストのみを除去することにより、図4(c)に示すようにp側コンタクト層10の上にストライプ幅1.8μmの第1の保護膜61が形成できる。

【0075】さらに、図4(d)に示すように、ストラ

イプ状の第1の保護膜61形成後、再度RIEによりSiCl₄ガスを用いて、p側コンタクト層10、およびp側クラッド層9をエッチングして、ストライプ幅1.8μmのリッジ形状のストライプを形成する。但し、リッジ形状のストライプは、図1に示すように、ELOG成長を行う際に形成した保護膜の上部で且つ保護膜の中心部分を避けるように形成される。リッジストライプ形成後、ウェハをPVD装置に移送し、図4(e)に示すように、Zr酸化物(主としてZrO₂)よりなる第2の保護膜62を、第1の保護膜61の上と、エッチングにより露出されたp側クラッド層9の上に0.5μmの膜厚で連続して形成する。このようにZr酸化物を形成すると、p-n面の絶縁をとるためと、横モードの安定を図ることができ好ましい。次に、ウェハをフッ酸に浸漬し、図4(f)に示すように、第1の保護膜61をリフトオフ法により除去する。

【0076】次に図4(g)に示すように、p側コンタクト層10の上の第1の保護膜61が除去されて露出したそのp側コンタクト層の表面にNi/Auよりなるp電極20を形成する。但しp電極20は100μmのストライプ幅として、この図に示すように、第2の保護膜62の上に渡って形成する。第2の保護膜62形成後、図1に示されるように露出させたn側コンタクト層2の表面にはTi/Alよりなるn電極21をストライプと平行な方向で形成する。

【0077】以上のようにして、n電極とp電極とを形成したウェハのサファイア基板を研磨して70μmとした後、ストライプ状の電極に垂直な方向で、基板側からバー状に劈開し、劈開面(11-00面、六角柱状の結晶の側面に相当する面=M面)に共振器を作製する。共振器面にSiO₂とTiO₂よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にp電極に平行な方向で、バーを切断して図1に示すようなレーザ素子とする。なお共振器長は300~500μmとすることが望ましい。得られたレーザ素子をヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みた。その結果、室温においてしきい値2.5kA/cm²、しきい値電圧5Vで、発振波長がほぼ455nmの連続発振が確認され、室温で1000時間以上の寿命を示す。

【0078】[実施例2] 実施例1において、p型ガイド層及びp型クラッド層を以下のようにする他は同様にして、レーザ素子を作製する。

【0079】(p型ガイド層8) 温度を850℃にして、原料ガスにTMI、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてCp₂Mgを用い、Mgを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたIn_{0.5}Ga_{0.5}Nよりなる1回目の第2の窒化物半導体を50オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、1回目の第2の窒化物半導体よりIn組成が少なくなるように原料ガスの流量を調整する他は同様にして、Mgを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたIn

GaNよりなる2回目の第2の窒化物半導体を50オングストロームの膜厚で成長させる。このように第2の窒化物半導体のIn組成が徐々に少なくなるように操作を繰り返し、活性層から最も遠い第2の窒化物半導体にはIn組成が含まれないGaNとして、In組成の異なる複数の第2の窒化物半導体を積層し、総膜厚750オングストロームの、In組成の組成傾斜されているp型ガイド層を成長させる。

【0080】(p型クラッド層9)次に、温度を900℃にして、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてCp₂Mgを用い、Mgを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなる1回目の第1の窒化物半導体を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、原料ガスとしてTMAを加える他は同様にして、Mgを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたAl_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる2回目の第1の窒化物半導体を25オングストロームの膜厚で成長させる。このように第1の窒化物半導体のAl組成が徐々に多くなるように操作を繰り返し、活性層から最も遠い第1の窒化物半導体がAl_{0.1}Ga_{0.9}Nとなるようにして、Al組成の異なる複数の第1の窒化物半導体を積層し、総膜厚5000オングストロームの、Al組成の組成傾斜されているp型クラッド層9を成長させる。得られたレーザ素子は、実施例1とはほぼ同様に良好なレーザ発振をした。

【0081】[実施例3] 実施例1において、n型及びp型ガイド層及びn型及びp型クラッド層を以下のようにする他は同様にして、レーザ素子を作製する。

【0082】(n型クラッド層4) 温度を1050℃にして、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたAl_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる1回目の第1の窒化物半導体を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、1回目の第1の窒化物半導体よりAl組成が少ない他は同様にして、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした2回目の第1の窒化物半導体を成長させる。このようにAl組成が徐々に少なくなるように操作を繰り返し、活性層に最も接近している第1の窒化物半導体がAl組成を含まないGaNとして、Al組成の異なる複数の第1の窒化物半導体を積層し、総膜厚7000オングストロームの、Al組成の組成傾斜されているn型クラッド層を成長させる。

【0083】(n型ガイド層5) 温度を850℃にして、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、アンドープのGaNよりなる1回目の第2の窒化物半導体を30オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、原料ガスとしてTMIを加える他は同様にして、In組成が少し含まれるアンドープのInGa_{0.9}Nよりなる2回目の第2の窒化物半導体を30オングストロームの膜厚で成長させる。このように第2の窒化物半導体のIn組成が徐々に多くなるように操作を繰り返し、活性層に最も接近し

ている第2の窒化物半導体にはIn_{0.1}Ga_{0.9}Nからなる第2の窒化物半導体を成長させ、In組成の異なる複数の第2の窒化物半導体を積層し、総膜厚750オングストロームの、In組成の組成傾斜されているn型ガイド層を成長させる。

【0084】(p型ガイド層8) p型ガイド層としては、前記実施例2と同様のものを成長させる。

【0085】(p型クラッド層9) p型クラッド層としては、前記実施例2と同様のものを成長させる。

【0086】得られたレーザ素子は、実施例1と比較すると、寿命特性がやや低下するが、実施例1とはほぼ同様に良好なレーザ発振をした。また、多層膜層を形成していないので、実施例1に比べて成長時間が短縮できる。

【0087】[実施例4] 実施例3において、p型クラッド層を以下のようにする他は同様にして、レーザ素子を作製する。

【0088】(p型クラッド層9) 次に、同様の温度で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、アンドープのAl_{0.1}Ga_{0.9}NよりなるA層を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、TMAを止め、不純物ガスとしてCp₂Mgを用い、Mgを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるB層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ100回繰り返してA層とB層とを積層し、総膜厚5000オングストロームの多層膜(超格子構造)よりなるp型クラッド層9を成長させる。

【0089】得られたレーザ素子は、実施例3とはほぼ同様に良好なレーザ発振をおこなうことができる。

【0090】[実施例5] 実施例3において、n型ガイド層及びp型クラッド層を以下のようにする他は同様にして、レーザ素子を作製する。

【0091】(n型ガイド層5) 次に、同様の温度で、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、アンドープのGaNよりなるn型ガイド層を0.075μmの膜厚で成長させる。

【0092】(p型クラッド層) p型クラッド層は、上記実施例4と同様のものを成長させる。

【0093】得られたレーザ素子は、実施例3とはほぼ同様に良好なレーザ発振をおこなうことができる。

【0094】[実施例6] 実施例3において、p型ガイド層及びp型クラッド層を以下のようにする他は同様にして、レーザ素子を作製する。

【0095】(p型ガイド層8) 次に、温度を800℃にして、原料ガスにTMI、TMG及びアンモニアを用い、アンドープのIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる第2の窒化物半導体を50オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、TMIを止め、不純物ガスとしてCp₂Mgを用い、Mgを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなる第4の窒化物半導体を50オングストロームの膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ20回繰り返

して第2の窒化物半導体と第4の窒化物半導体を積層し、総膜厚2000オングストロームの多層膜層よりなるp型ガイド層を成長させる。但し、第2の窒化物半導体のIn組成は組成傾斜していない。

【0096】(p型クラッド層) p型クラッド層は、上記実施例4と同様のものを成長させる。

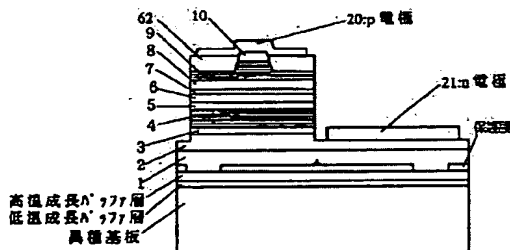
【0097】得られたレーザ素子は、実施例3と比較すると、やや寿命特性が低下するものの、実施例3とほぼ同様に良好なレーザ発振をおこなうことができる。

【0098】[実施例7] 実施例1において、p型電子閉じ込め層7を以下のように2層から構成させる他は同様にして窒化物半導体レーザ素子を作製する。

(p型電子閉じ込め層7) 温度を800℃にして、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてCp₂Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたAl_{0.5}Ga_{0.5}Nよりなる低温成長のA層を30オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を900℃にして、Mgを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたAl_{0.5}Ga_{0.5}Nよりなる高温成長のB層を70オングストロームの膜厚で成長させてなる低温成長のA層と高温成長のB層との2層からなるp型電子閉じ込め層7を成長させる。得られたレーザ素子は、実施例1と同様に長波長のレーザ光の発振し良好な寿命特性を有する。

【0099】[実施例8] 実施例1において、クラック防止層3を成長させる際に、Inの組成比を0.2として、Siを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなるクラック防止層3を0.15μmの膜厚で成長させる他は同様にしてレーザ素子を作製する。得られたレーザ素子は、実施例1と同様に長波長のレーザ光の発振し良好な寿命特性を有し、更に活性層6で発光*

【図1】



*しn型クラッド層から漏れだした光が良好にレーザ素子内(クラッド防止層3)で吸収され、ファーフールドパターンが実施例1より良好になる。

【0100】

【発明の効果】本発明は、上記のようにガイド層及びクラッド層を組成傾斜させて成長させることにより、結晶にかかる歪みを緩和し、ガイド層や活性層等の結晶性を向上させ、長波長のレーザ光を得ることができる窒化物半導体レーザ素子を提供することができる。

10 【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の一実施の形態である窒化物半導体レーザ素子を示す模式的断面図である。

【図2】図2は、サファイアの面方位を示すユニットセル図である。

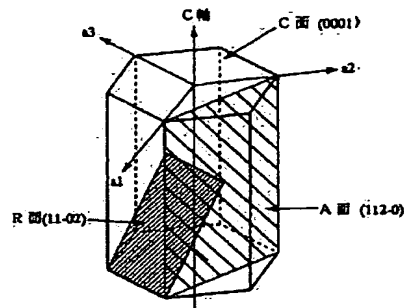
【図3】図3は、オフアングルした異種基板の部分的な形状を示す模式的断面図である。

【図4】図4は、リッジ形状のストライプを形成する一実施の形態である方法の各工程におけるウェハの部分的な構造を示す模式的断面図である。

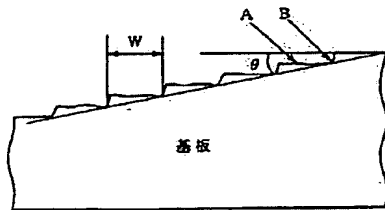
20 【符号の説明】

- 1・・・窒化物半導体基板
- 2・・・n型コンタクト層
- 3・・・クラック防止層
- 4・・・n型クラッド層
- 5・・・n型ガイド層
- 6・・・活性層
- 7・・・p型電子閉じ込め層
- 8・・・p型ガイド層
- 9・・・p型クラッド層
- 10・・・p型コンタクト層

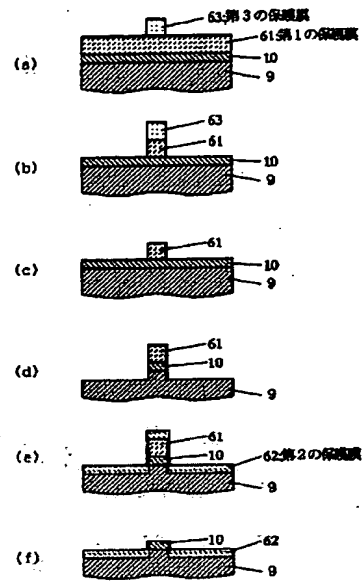
【図2】



【図3】



【図4】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.